

Numerieke modellering van het sediment- transport ter hoogte van de Thorntonbank

Dries Van den Eynde

CPOWER2/1/DVDE/200511/NL/TR/1

Vorbereid in het kader van de monitoring van de milieueffecten van de installatie van een windmolenpark ter hoogte van de Thorntonbank door C-Power.

BMM
Gulledelle 100
B-1200 Brussel
België

I. Inleiding

Ter hoogte van de Thorntonbank wordt in de nabije toekomst de installatie van een windmolenpark voorzien, dat zal worden geïnstalleerd door de n.v. C-Power. Dit park zal bestaan uit 60 windmolens met een vermogen van 3,6 tot 5 MW. Deze windmolens zullen in twee gebieden op de top van de bank geïnstalleerd worden.

De te verwachten milieueffecten van dit windmolenpark werden besproken in het milieueffectenrapport (MER) (ECOLAS, 2003) en in de milieueffecten-beoordeling (MEB) (BMM, 2004). Daar werden onder andere de te verwachten effecten op de bodem en op het sedimenttransport besproken. De belangrijkste effecten zijn de verhoging van de turbiditeit tijdens de werken en het optreden van erosie rond de palen tijdens de exploitatiefase. Deze erosie wordt tegengegaan door het aanbrengen van erosiebescherming. Volgens het MER zal in normale omstandigheden het westelijke deel van de bank sedimentair zijn, terwijl de steile zuidflank erosief is. Het effect van de zandwinning in de nabijheid wordt hierbij niet in rekening gebracht.

Om de milieueffecten te evalueren en het project te kunnen bijsturen waar nodig, zal voor en tijdens het project een uitgebreide monitoring worden uitgevoerd. De monitoring omvat ook het volgen van de morfologische evolutie van de bodem, om ervoor te zorgen dat de erosiebescherming voldoende blijft en dat ook de natuurlijke morfologische evolutie geen problemen veroorzaakt voor de stabiliteit van de windmolens.

De "jaar 0" monitoring heeft als doel een beter inzicht te krijgen in de natuurlijke situatie, zodat de effecten die worden veroorzaakt door de installatie van het windmolenpark beter kunnen worden geëvalueerd. Het huidige onderzoek kadert in dit monitoringsplan. In dit rapport wordt bijkomende informatie gegeven over het natuurlijke morfologische evolutie van de Thorntonbank zoals die wordt berekent met numerieke modellen.

In een eerste sectie worden de numerieke modellen kort toegelicht. Vervolgens worden de modelresultaten besproken. Tot slot wordt een besluit geformuleerd.

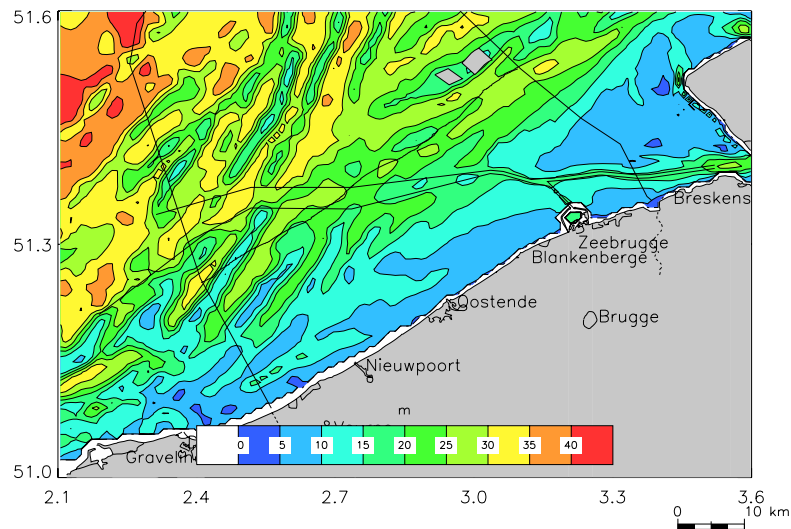
2. Beschrijving van de numerieke modellen

2.1. *Hydrodynamisch model MU-BCZ*

Het model MU-BCZ wordt gebruikt om de respons van de stromingen en de waterhoogtes te voorspellen onder de invloed van de getijden en de atmosferische invloeden. Het model is een tweedimensionaal verticaal-geïntegreerd hydrodynamisch model. De modelvergelijkingen zijn de conventionele verticaal-geïntegreerde ondiep water golfvergelijkingen. Deze vergelijkingen drukken het behoud van massa en van momentum uit. De variabelen in het model zijn de variatie van het vrije oppervlak ten opzichte van het gemiddelde zeeniveau en de twee componenten van de over de diepte gemiddelde stroming. De evolutie in de tijd van deze variabelen worden in elk punt van het modelrooster berekend. De modelvergelijkingen worden opgelost met een volledig expliciet numeriek schema op een Arakawa-C rooster. Een conventionele kwadratische wet wordt gebruikt om de windspanningen te berekenen als een functie van de windsnelheid 10 m boven het zeeoppervlak. De wrijvingscoëfficiënt is een gebroken lineaire functie van de windsnelheid. Ook de bodemspanning wordt berekend met een kwadratische wrijvingswet.

Het rooster heeft een resolutie van 40" in lengtegraad en 25" in breedtegraad (ongeveer 770 m x 770 m) over het gehele rooster en omvat het zuidelijk gedeelte van het Belgisch Continentale Plat (Figuur 1). Langsheen de open randen is het model gekoppeld met het MU-STORM model, een tweedimensionaal hydrodynamisch model voor de gehele Noordzee en het Engelse Kanaal. De amplitude en de fase van acht getijcomponenten (Q_1 , O_1 , K_1 , P_1 , N_2 , M_2 , S_2 , K_2) worden gebruikt om de tijdsvariatie van de waterhoogte langsheen de open randen van het MU-STORM model te berekenen. Aan de uitstroming van de Schelde is het MU-BCZ model gekoppeld met een één dimensionaal model voor het estuarium en zijn belangrijkste bijrivieren.

Een volledige technische beschrijving van dit model en van het gebruikte numerieke schema valt buiten het bestek van dit rapport. Meer informatie betreffende het model kan worden gevonden in Adam, 1979, Adam, 1987a, Adam, 1987b en Adam et Sterling, 1984.



Figuur 1: Bathymetrie van het MU-BCZ model. De plaats van de windmolenpark is aangeduid in het grijs.

2.2. *Het golfmodel MU-WAVE*

Het golfklimaat op het Belgisch Continentaal Plat wordt berekend met het MU-WAVE golfmodel (Van den Eynde, 1992). De kern van dit golfmodel wordt gevormd door het tweede generatie golfmodel HYPAS (Günther *et al.*, 1979, Günther and Rosenthal, 1985; Hermans, 1989), dat een onafhankelijke berekening van de deiningse energie voor verschillende frequenties en richtingen met behulp van een straalmethode combineert met een parametrisch model voor de zeeegang, waarbij de JONSWAP parameters en de gemiddelde golfrichting de prognostische variabelen zijn. Het model berekent voor elk roosterpunt en voor elke tijdstap het gehele golfspectrum, rekening houdende met golfgeneratie door atmosferische energie-input, met energiedissipatie door bodemwrijving of golfbreking, met golfpropagatie en met niet-lineaire interacties tussen de verschillende golfcomponenten. Enkele ondiepwater-effecten, zoals shoaling, worden in het model in rekening gebracht.

Voor de toepassing is het model geïmplementeerd op twee gekoppelde roosters. Het eerste rooster heeft een resolutie van 50 km x 50 km (stereografische projectie) en modelleert de gehele Noordzee. De 'open randvoorwaarden' worden er behandeld als gesloten randen, waar de 'fetch'-relaties worden gebruikt. In de Zuidelijke Bocht wordt een rooster met een resolutie van 5 km x 5 km gebruikt. Aan de open randen worden de resultaten van het groffe rooster HYPAS model gebruikt als invoerwaarden.

2.3. *Sedimenttransportmodel MU-SEDIM*

Het sedimenttransportmodel MU-SEDIM is geïmplementeerd op hetzelfde rooster als het hydrodynamische model en berekent de het totale

sedimenttransport (bodemtransport en transport van materiaal in suspensie) onder de invloed van de lokale hydrodynamische omstandigheden. Van den verschillende formules die in de literatuur beschikbaar zijn werd de formule van Ackers-White (1973) geselecteerd, die in een vergelijking die door Sleath (1984) werd uitgevoerd de beste resultaten gaf.

De bodemspanning onder de invloed van de stromingen is een functie van de over-de-diepte-gemiddelde snelheid van de Nikuradse bodemruwheid. De bodemspanning kan worden geschreven als:

$$\tau_c = \rho \kappa^2 \left(\ln \frac{30h}{k_s} - 1 \right)^{-2} U^2 \quad (1)$$

met ρ de densiteit van het water (kg/m^3), κ de von-Karman constante, die gelijk is aan 0.4, h de waterdiepte (m), k_s de Nikuradse bodemruwheid (m) en U de over-de-diepte-gemiddelde stroomsnelheid (m/s).

Voor de berekening van de bodemspanning onder de invloed van de stromingen en de golven wordt de formulering van Bijker (1966) gebruikt:

$$\tau_b = \tau_c \left[1 + 0.5 \left(\frac{c}{\sqrt{2g}} \sqrt{f_w} \frac{u_b}{U} \right)^2 \right] \quad (2)$$

waarbij g de valversnelling is, u_b de orbitale golfsnelheid, f_w de golfwrijvingsfactor en c een empirische factor die werd bepaald als (Van den Eynde & Ozer, 1993):

$$c = 77.5 + 14.18 \min \left(\frac{u_c}{u_b}, 0.67 \right) \quad (3)$$

Voor de berekening van de Nikuradse bodemruwheid k_s wordt een onderscheid gemaakt tussen de oppervlakteruwheid en de totale ruwheid. De oppervlakteruwheid is de ruwheid die wordt gevoeld door de sedimenten aan de bodem. In het MU-SEDIM model wordt de vergelijking van Engelund en Hansen (1967) gebruikt voor de berekening van de oppervlakteruwheid k_{ss} :

$$k_{ss} = 2.0 D_{65} \quad (4)$$

met D_{65} de korrelgrootte waarvoor 65 % van het materiaal een kleinere korrelgrootte heeft (m). De totale bodemwrijving aan de andere hand wordt ervaren door de stroming en wordt ook beïnvloed door het bodemtransport en de bodemvormen. De invloed van het bodemtransport wordt berekend met het Grant and Madsen (1982) model, dat de bodemruwheid berekent onder de invloed van stromingen en golven:

$$k_{sb} = 160K \left(\frac{\rho_s}{\rho} + C_m \right) D_{50} \theta_s \left[\left(\frac{\theta_s}{\theta_c} \right)^{0.5} - 0.7 \right]^2 \quad (5)$$

met K een factor die rekening houdt met de invloed van de stromingen of golven, ρ_s de densiteit van de sedimenten (kg/m^3), C_m een vormfactor gelijk aan 0.5 voor sferische partikels, D_{50} de korrelgrootte waarvoor 50 % van het materiaal een kleinere korrelgrootte heeft (m), θ_s de Shields parameter voor de bodemspanning en θ_c de kritische Shields parameter voor de start van het bodemtransport. Deze Shields parameter wordt gedefinieerd als:

$$\theta_s = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D_{50}} \quad (6)$$

Voor de kritische Shields parameter wordt de Shields curve (1936) gebruikt. Wanneer de bodemspanning de kritische bodemspanning overschrijdt, wordt de totale bodemruwheid verhoogd door de bodemruwheid als gevolg van het bodemtransport. Het deel van de totale bodemruwheid, die wordt veroorzaakt door de bodemvormen, wordt gemodelleerd met het model van Grant and Madsen (1982):

$$k_{sv} = 27.7\eta \frac{\eta}{\lambda} \quad (7)$$

met η de hoogte van de bodemvormen (m) en λ de lengte van de bodemvormen (m). De hoogte en de lengte van de bodemvormen worden berekend met empirische relaties die werden voorgesteld Grant and Madsen (1982).

Merk op dat de berekening van de totale bodemruwheid (vergelijking 5 tot 7) soms onrealistische waarden geeft, wanneer de golven worden in rekening gebracht. In dit geval wordt een constante totale bodemruwheid aangenomen van 0,006 m.

Tot slot berekent het model de evolutie van de bodem, via een continuïteitsvergelijking voor de bodemsedimenten (Djenidi and Roday, 1992):

$$\rho_s (1-p) \frac{\partial \xi}{\partial t} + \nabla \vec{Q} = 0 \quad (8)$$

met p de porositeit, ξ de positie van de bodem ten opzichte van de oorspronkelijke positie en met $\nabla \vec{Q}$ de divergentie van de sedimenttransportvector.

Het MU-SEDIM model werd reeds met succes toegepast voor de modellering van het sedimenttransport ter hoogte van de knik in de Westhinder bank (Deleu *et al.*, 2004).

3. Resultaten

3.1. Definitie van het gebied

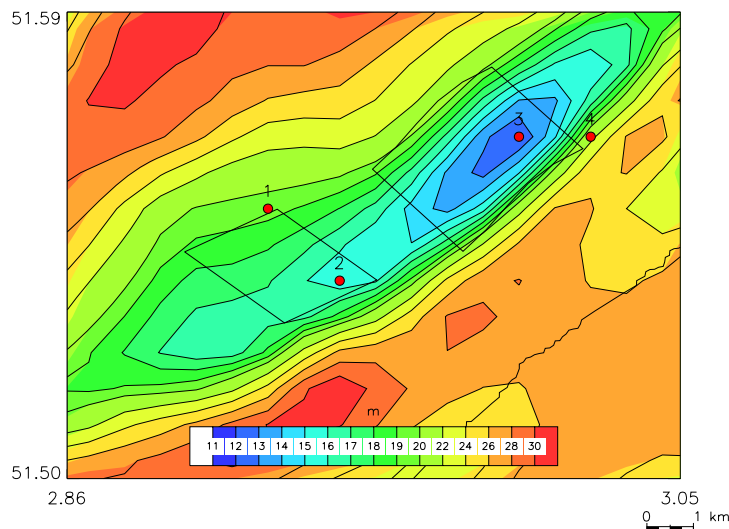
In Tabel 1 wordt het concessiegebied gedefinieerd, in geografische coördinaten en in de modelcoördinaten van het hydrodynamisch model MU-BCZ.

	Punt	Breedte (°N)	Lengte (°O)	I	J
Gebied A	1	51.54375	2.896391	73.67518	78.80023
	2	51.55198	2.925075	76.25675	79.98511
	3	51.53831	2.955921	79.03288	78.01691
	4	51.53004	2.927329	76.45962	76.82599
Gebied B	5	51.55970	2.954593	78.91336	81.09692
	6	51.56391	2.961808	79.56271	81.70337
	7	51.56844	2.968199	80.13791	82.35541
	8	51.57288	2.974889	80.74001	82.99481
	9	51.57652	2.982492	81.42428	83.51886
	10	51.57941	2.991580	82.24220	83.93524
	11	51.56366	3.019788	84.78092	81.66711
	12	51.56064	3.010536	83.94823	81.23206
	13	51.55701	3.002911	83.26199	80.70966
	14	51.55256	2.996233	82.66096	80.06860
	15	51.54803	2.989840	82.08560	79.41656
	16	51.54385	2.982648	81.43831	78.81451

Tabel 1: Definitie van het aangevraagde concessiegebied in geografische coördinaten en in modelcoördinaten I (van links naar rechts) en J (van onder naar boven).

3.2. Bathymetrie

In Figuur 2 wordt de bathymetrie van het hydrodynamische model weergegeven in de buurt van het windmolenpark. De waterdiepte, ten opzichte van het gemiddelde zeeniveau (Mean Sea Level, MSL) varieert in gebied A van 16 tot 20 m, terwijl in gebied B, de waterdiepte varieert tussen 12 m tot 22 m, in het zuiden van het gebied.



Figuur 2: Bathymetrie van het hydrodynamisch model in de buurt van het windmolenpark.

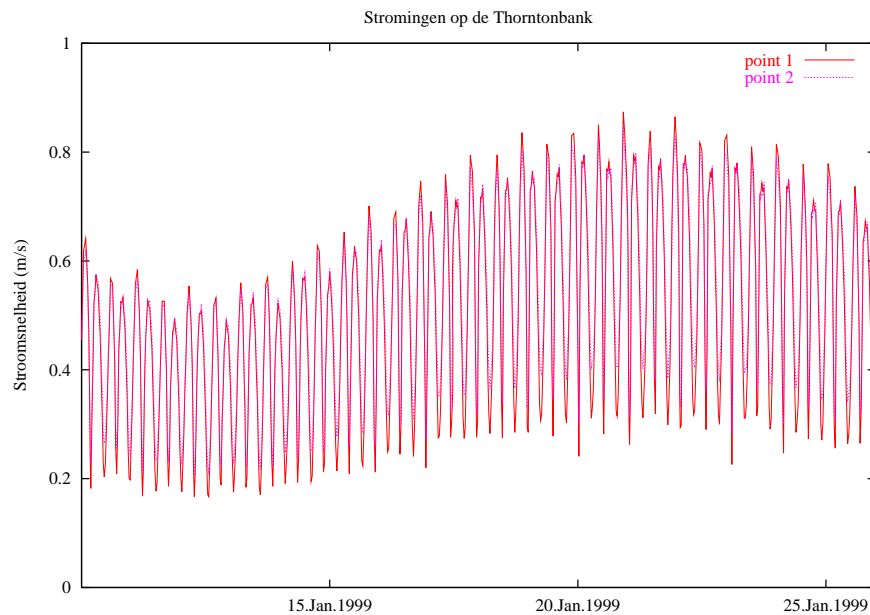
3.3. *Stromingen*

De stromingen in vier punten in en rond het concessiegebied voor een periode van 15 dagen worden voorgesteld in Figuur 3 en Figuur 4. De positie van de punten is aangeduid in Figuur 2. Punten 1 en 2 liggen in gebied A, terwijl punten 3 en 4 in of nabij gebied B liggen. Twee punten zijn gekozen op de zandbank zelf (punten 2 en 3), terwijl de twee andere punten op de noordflank van de bank (punt 1) of de zuidflank van de bank (punt 4) gelegen zijn. De geografische coördinaten en de dieptes worden gegeven in Tabel 2.

Punt	Breedtegr. (° N)	Lengtegr. (° O)	Diepte (m MSL)
1	51.55208	2.922222	19.42
2	51.53819	2.944444	15.28
3	51.56597	3.000000	11.85
4	51.56597	3.022222	21.36

Tabel 2: Geografische coördinaten en waterdieptes van vier punten in en rond het concessiegebied.

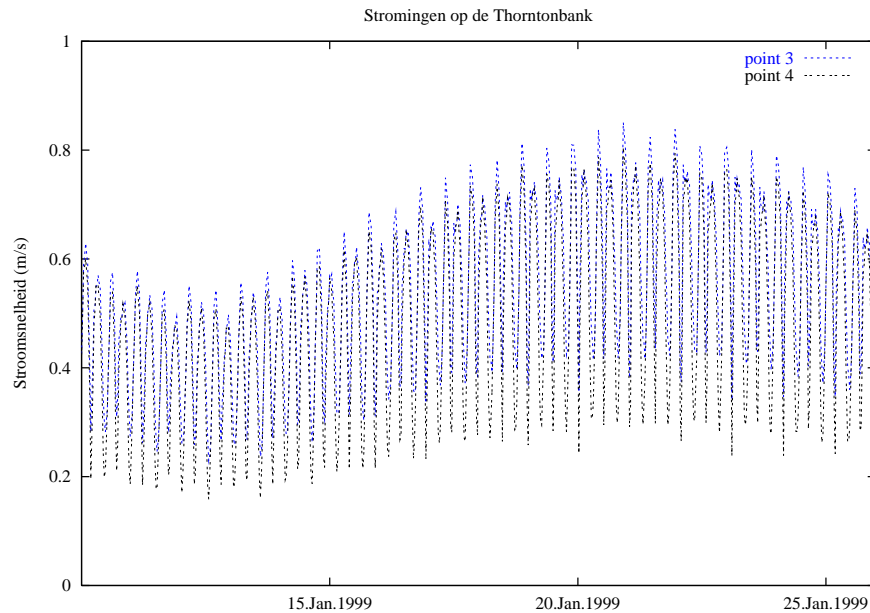
De stromingen worden gegeven voor de periode 10/1/1999 tot 26/1/1999, een periode van 15 dagen, die een volledige doortij-springtijcyclus omvat. De stromingen worden berekend, zonder rekening te houden met de meteorologische omstandigheden. Men kan zien dat er een grotere variatie optreedt in de diepere punten (punten 1 en 4). In de ondiepere punten, op de bank zelf, blijven de minimumstromingen groter. Het verschil tussen de vloedstromingen zijn relatief klein. De stromingen in het gebied variëren ruwweg tussen 0,2 m/s en 0,8 m/s. Tijdens springtij en gemiddeld tij dalen de stroomsnelheden zelfs niet onder de 0,3 m/s.



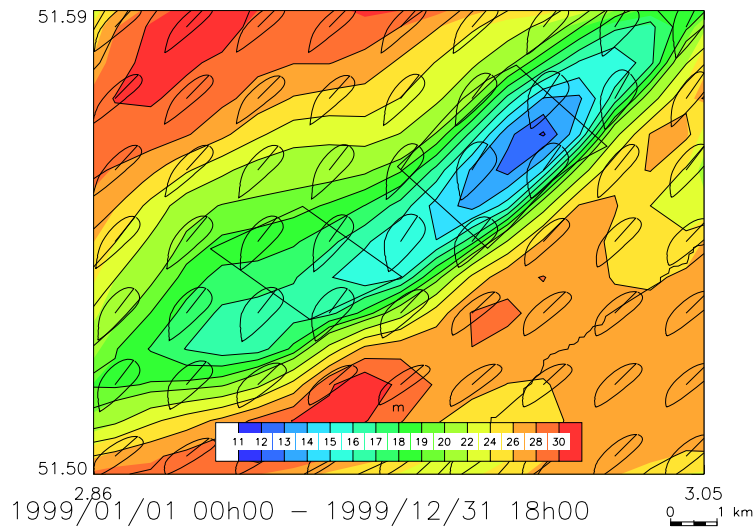
Figuur 3: Stromingen in punten 1 en 2.

Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 5, waar de stromingsellipsen —dit zijn de contouren rond de stromingsvectoren over een getijde— worden weergegeven op de Thorntonbank en het gebied rond de bank.

De stromingsellipsen werden berekend over het gehele jaar 1999 en rekening houdende met de meteorologische invloeden. Ze worden voorgesteld voor één roosterpunt op vier. Men kan opmerken dat op de bank de getijellipsen meer cirkelvormig zijn, met hogere snelheden tijdens de stroomkentering. In de geulen, naast de banken, zijn de ellipsen langwerpiger, met hogere eb- en vloedstromingen, en met lagere stromingen tijdens de stroomkentering.



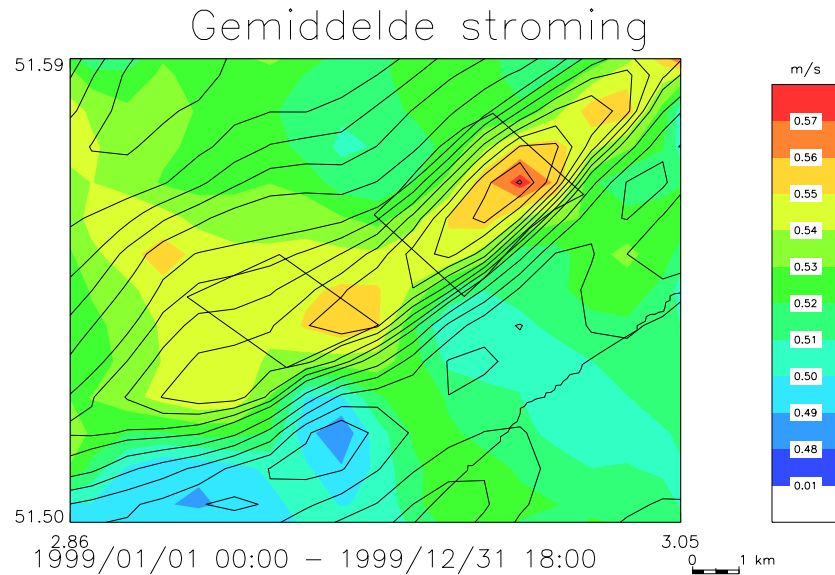
Figuur 4: Stromingen in punten 3 en 4.



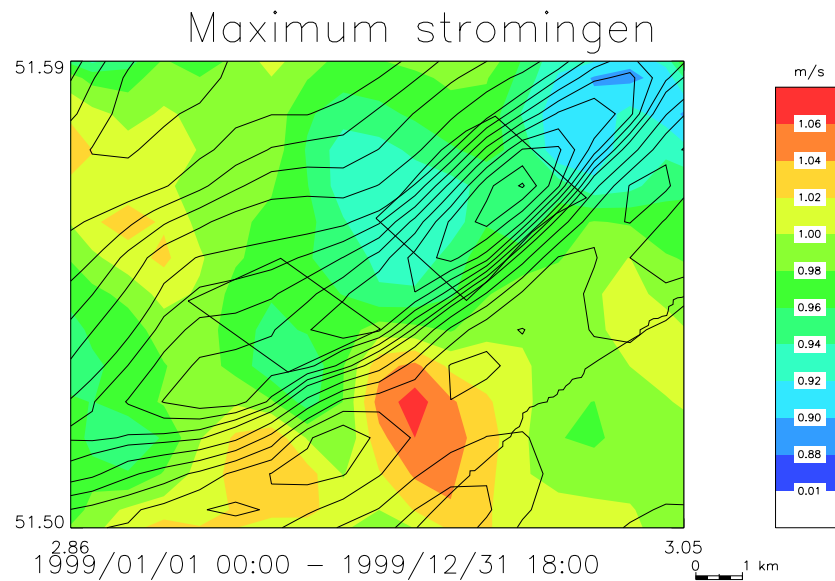
Figuur 5: Gemiddelde stromingsellipsen op en rond de Thorntonbank.

In Figuur 6 en Figuur 7 worden respectievelijk de gemiddelde en de maximale stroomsnelheden weergegeven, zoals ze werden berekend met het MU-BCZ model. Ook hier worden de resultaten van het gehele jaar 1999 in rekening gebracht en wordt rekening gehouden met de meteorologische invloeden. De gemiddelde stroomsnelheden zijn het hoogste op de zandbank. Op de top van de Thorntonbank bereikt de gemiddelde stroming waarden tot 0,57 m/s. De maximale stroomsnelheden aan de andere hand zijn het hoogste in de geulen

vooral ten zuiden van de zandbank. Ter hoogte van het concessiegebied blijven de maximale stroomsnelheden beperkt tot minder dan 1,0 m/s.



Figuur 6: Gemiddelde stroomsnelheid op de Thorntonbank.



Figuur 7: Maximale stroomsnelheid op de Thorntonbank.

Tot slot worden in Figuur 8 en Figuur 9 de residuele stroomsnelheden en residuele transportsnelheden in het gebied voorgesteld, opnieuw voor het volledige jaar 1999. De residuele stromingsnelheden worden gedefinieerd als:

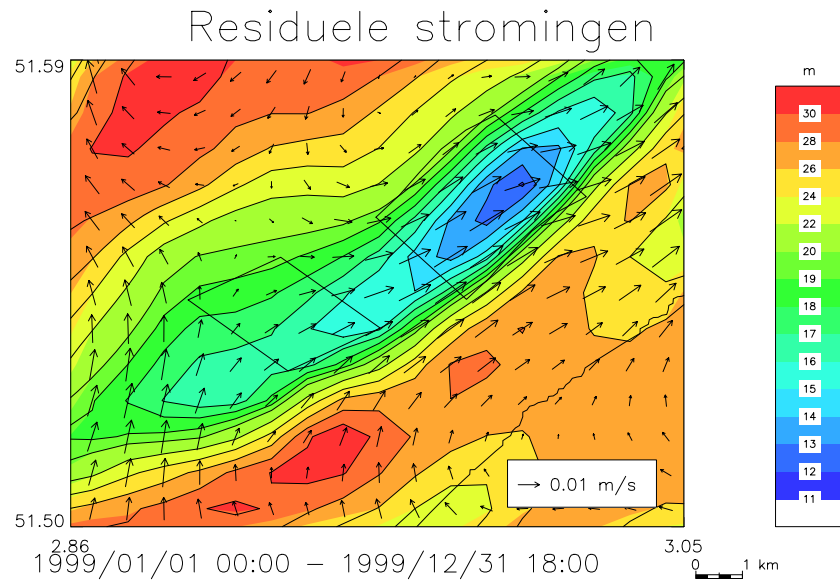
$$\vec{U}_{rs} = \frac{\sum_{i=1}^k \vec{u}_{ci}}{k}$$

en zijn de vectorieel gemiddelde stromingen in een punt, terwijl de residuele transportsnelheden rekening houden met de actuele waterdiepte:

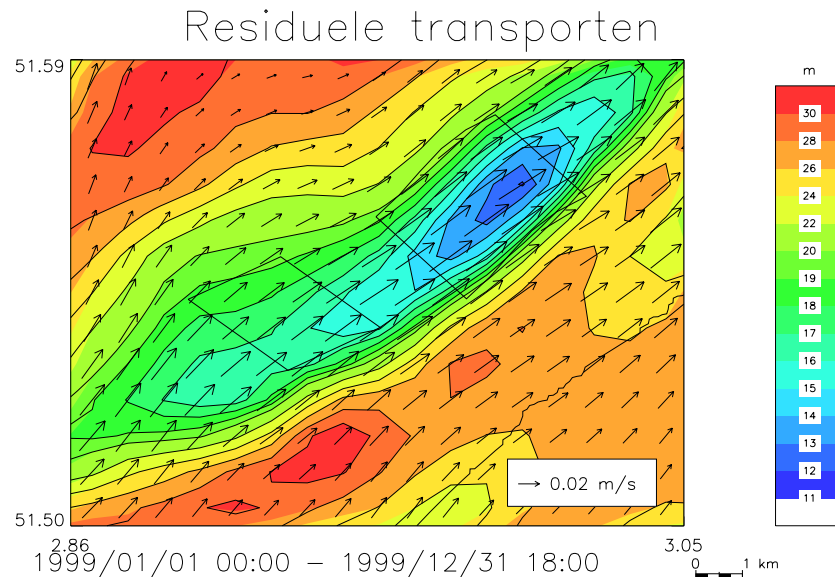
$$\vec{U}_{rt} = \frac{\sum_{i=1}^k h_i \vec{u}_{ci}}{\sum_{i=1}^k h_i}$$

met \vec{u}_{ci} de stroming op tijd i , h_i de waterdiepte op tijd i en k het totaal aantal stromingen dat wordt gebruikt bij de berekening van de residuen.

Ter hoogte van het concessiegebied zijn de residuele stromingen naar het noordoosten gericht. Ten westen van het gebied zijn de stromingen eerder naar het noorden gericht, terwijl ten noorden de residuele stromingen zelfs zuidelijk zijn. Merk op dat de residuele stromingen zeer klein zijn, grootteorde 0,01 m/s.



Figuur 8: Residuele stromingen ter hoogte van de Thorntonbank. De kleuren geven de bathymetrie aan.



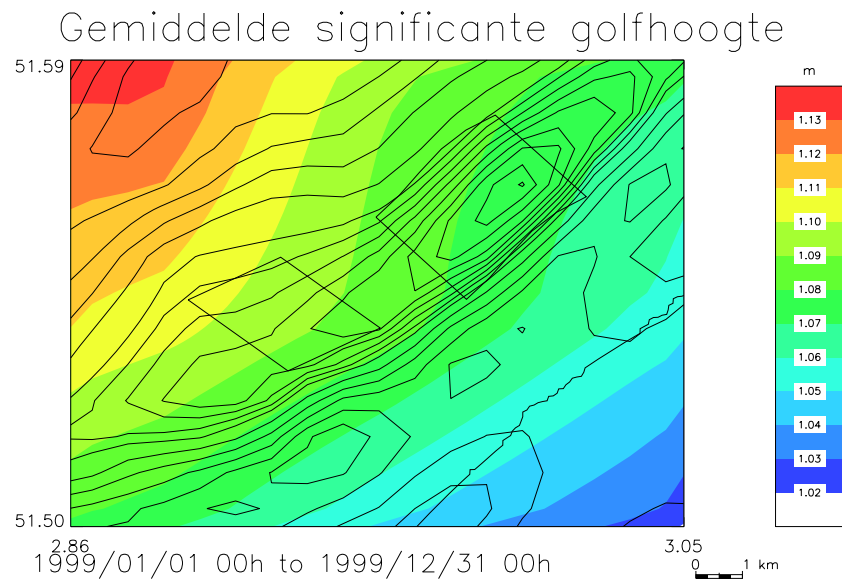
Figuur 9: Residuele transporten ter hoogte van de Thorntonbank. De kleuren geven de bathymetrie aan.

De residuele transporten zijn over het gehele gebied naar het noordoosten gericht, wat overeenkomt met de gekende waterstromingen naar de Nederlandse wateren. De vloedstroming blijkt in dit gebied dominant te zijn. Ook de residuele transporten zijn echter klein in vergelijking met de residuele transporten dicht bij de kust en bereiken slechts waarden van 0,02 m/s.

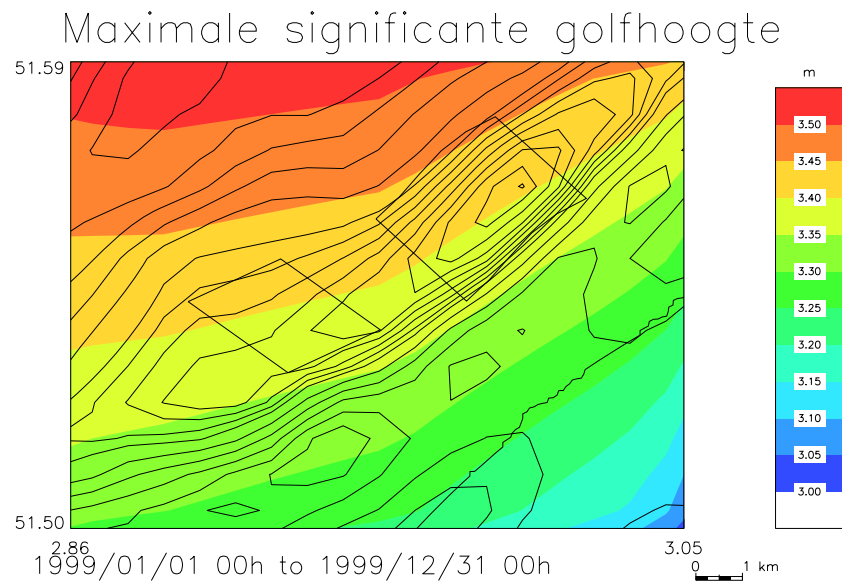
3.4. *Golven*

In Figuur 10 en Figuur 11 worden respectievelijk de gemiddelde significante golfhoogte en de maximale significante golfhoogte voorgesteld, zoals berekend met het golfmodel MU-WAVE en voor het gehele jaar 1999.

Zowel de gemiddelde golfhoogte als de maximale golfhoogte zijn het laagste in het zuiden, dicht bij de kust en worden hoger verder naar open zee toe. Er is weinig overeenkomst te merken met de waterdiepte zelf, bijvoorbeeld ter hoogte van de diepere vaargeulen. De gemiddelde golfhoogte ter hoogte van het concessiegebied ligt rond 1 m, met maximale golfhoogtes tot 3,4 m in het noorden van het gebied. Er moet wel worden opgemerkt dat uit vergelijkingen van de modelresultaten met metingen, ter hoogte van de Bol van Heist, ten oosten van Zeebrugge, bleek dat de met het golfmodel berekend golven goed voorspeld worden bij lagere golven, maar dat de hogere golfpieken in het model regelmatig onderschat worden. De gemiddelde en de maximale golfhoogten, zoals hier voorgesteld, zullen dus waarschijnlijk een onderschatting zijn van de reëel voorkomende golven in het gebied.



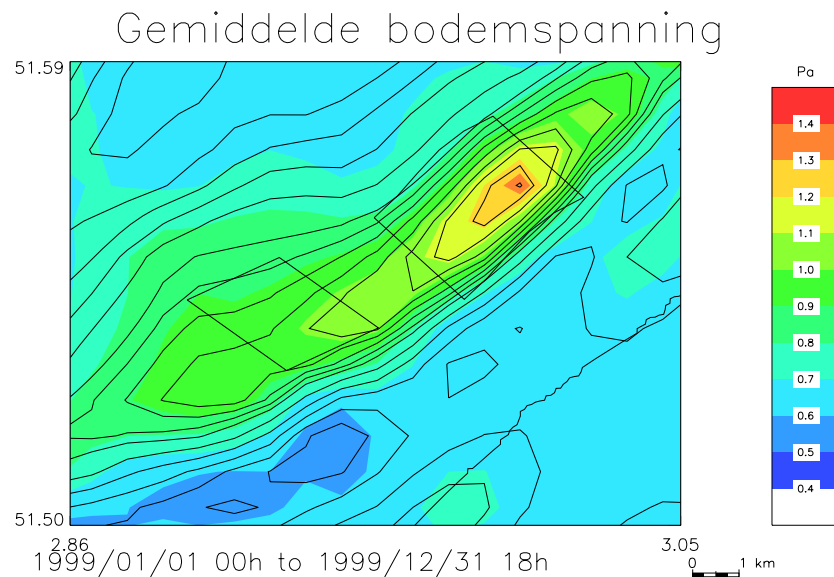
Figuur 10: Gemiddelde significante golfhoogte ter hoogte van de Thorntonbank.



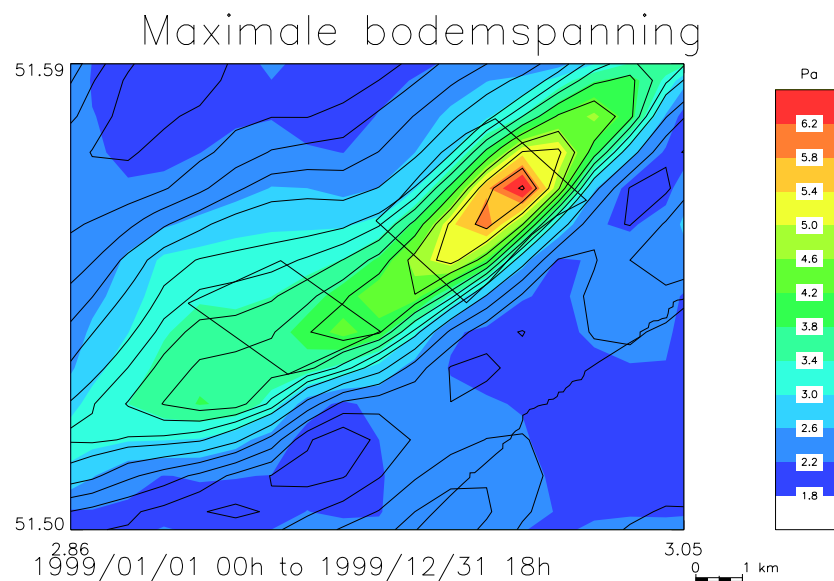
Figuur 11: Maximale significante golfhoogte ter hoogte van de Thorntonbank.

3.5. Bodemspanning

Aangezien de erosie van het bodemmateriaal in eerste instantie wordt bepaald door de aanwezige bodemspanning, wordt in Figuur 12 en Figuur 13 respectievelijk de gemiddelde en maximale berekende bodemspanningen weergegeven in het gebied. De berekeningen werden nogmaals uitgevoerd voor het gehele jaar 1999 en er werd rekening gehouden met de aanwezige stromingen en de aanwezige golven.



Figuur 12: Gemiddelde bodemspanning ter hoogte van de Thorntonbank.



Figuur 13: Maximale bodemspanning ter hoogte van de Thorntonbank.

Men kan opmerken dat de bodemspanning vooral wordt bepaald door de waterdiepte: hoe ondieper het water, hoe hoger de bodemspanningen. De gemiddelde bodemspanning varieert van 0,5 Pa in de diepere gebieden, zoals de vaargeulen en in het noorden van het gebied tot 1,4 Pa op de top van de Thorntonbank. Verder kan worden opgemerkt dat de maximale bodemspanningen veel hoger liggen. Terwijl in de diepere wateren de bodemspanning beperkt blijft tot 2 Pa, kan op de bank zelf de bodemspanning

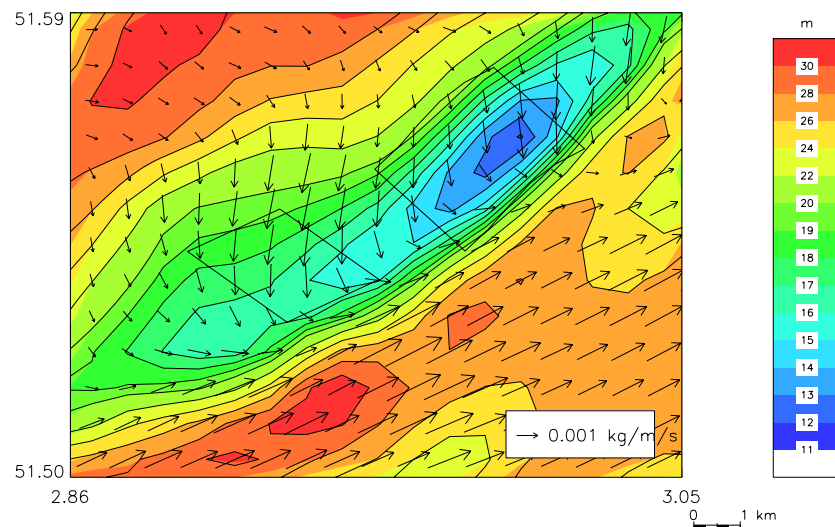
oplopen tot meer dan 6,5 Pa. Er kan worden opgemerkt dat de hogere bodemspanningen vooral worden bepaald door de hogere significante golfhoogte. Aangezien reeds werd vermeld dat de maximale golfhoogtes in het model worden onderschat, kan er ook worden van uitgegaan dat de hier vermelde maximale bodemspanningen onderschattingen zullen zijn van de in realiteit optredende maximale bodemspanningen.

3.6. Sedimenttransport

Net zoals de stromingen en de golven wordt ook het sedimenttransport met het MU-SEDIM model berekend voor het gehele jaar 1999. Drie verschillende simulaties worden hier voorgesteld.

3.6.1. Sedimenttransport zonder meteorologische invloeden

In de eerste simulatie wordt het sedimenttransport berekend voor het gehele jaar 1999, zonder rekening te houden met de meteorologische omstandigheden. Het gemiddelde sedimenttransport wordt voorgesteld in Figuur 14.

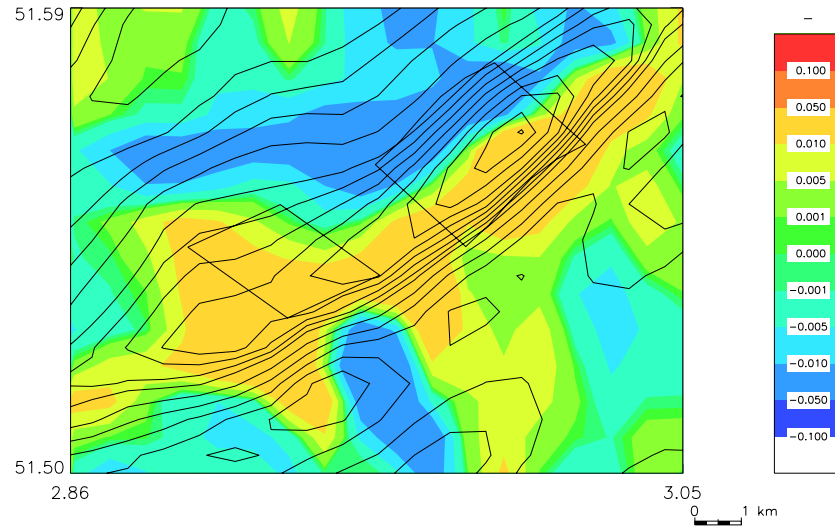


Figuur 14: Gemiddeld sediment transport voor het jaar 1999, zonder meteorologische omstandigheden.

Uit de figuur blijkt dat het sedimenttransport in tegenuurwijzerszin rond de zandbank gericht is. Het sedimenttransport blijkt duidelijk te verschillen van de residuele stromingen of residuele transporten. In de geul ten zuiden van de bank is het transport in de richting van de vloedstroom, en is naar het noordoosten gericht. Aan de zacht geleidelijke noordzijde van de bank is het sedimenttransport naar het zuiden, naar de top van de bank gericht.

Het sedimenttransport resulteert in een beperkte depositie over bijna de gehele bank. In het noordoostelijke deel van de bank is er een zone waar beperkte erosie kan optreden. Ook ten noorden van de bank is er een zone waar erosie optreedt. Ten zuiden van de bank is er grotendeels depositie, enkel

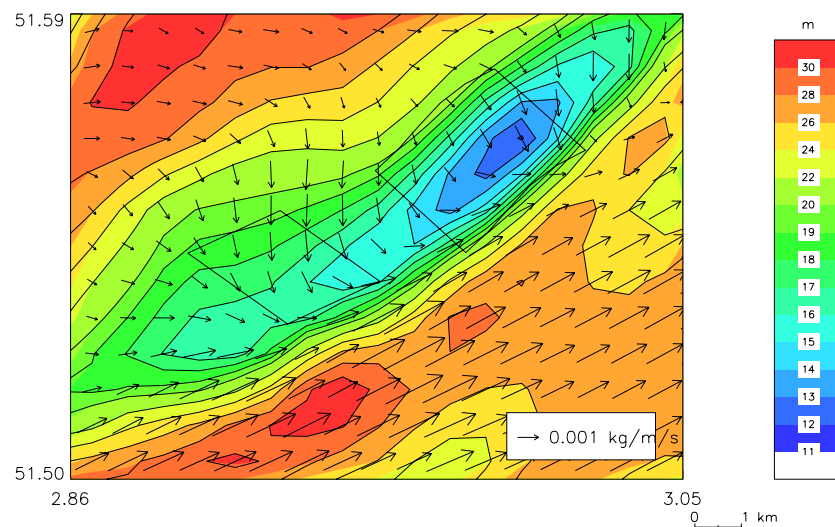
in een kleine zone in ten zuidwesten van de bank treedt er erosie op.



Figuur 15: Evolutie van de bodem over het jaar 1999, onder de invloed van het sedimenttransport zonder meteorologische omstandigheden.

3.6.2. Sedimenttransport met meteorologische invloeden

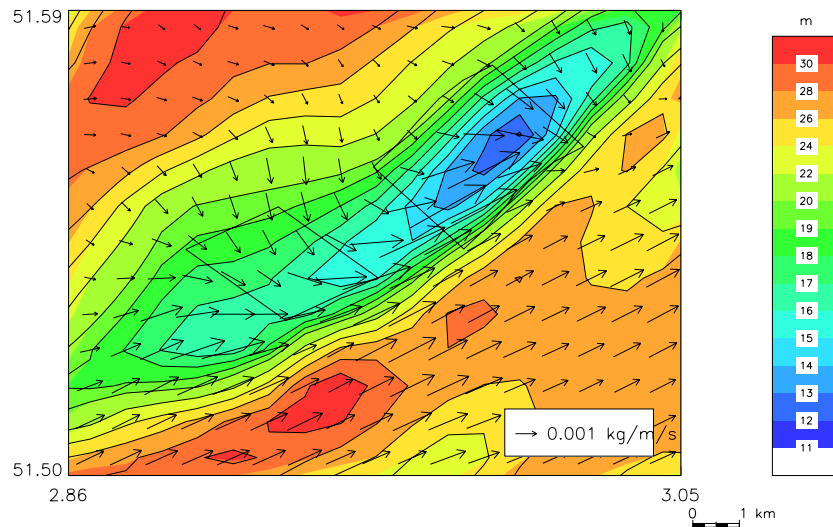
Wanneer het sedimenttransport wordt berekend voor het gehele jaar 1999, waarbij de meteorologische omstandigheden worden in rekening gebracht (zie Figuur 16), blijken er weinig verschillen op te treden met het sedimenttransport zonder meteorologische invloeden. Enkel in het zuidwesten van het bank is het sedimenttransport iets meer naar het oosten gedraaid, onder de invloed van de dominante westenwinden. De verschillen zijn echter zeer klein.



Figuur 16: Gemiddeld sediment transport voor het jaar 1999, met inbegrip van meteorologische omstandigheden.

3.6.3. Sedimenttransport met meteorologische invloeden en golven

In de laatste simulatie worden ook de invloed van de golven op het sedimenttransport in rekening gebracht. In Figuur 17 worden de resultaten voorgesteld. Zoals verwacht is het effect ten noorden en ten zuiden van de bank, in waterdieptes tot 30 meter, ter verwaarlozen. Op de top van de bank daarentegen, in waterdieptes tussen 12 en 15 meter, is de invloed van de golven wel waar te nemen. Vooral op de top van de bank worden de sedimenttransporten duidelijk hoger. De transport blijken bovendien ook terug iets meer naar het oosten te draaien. Het algemene beeld blijft wel hetzelfde.

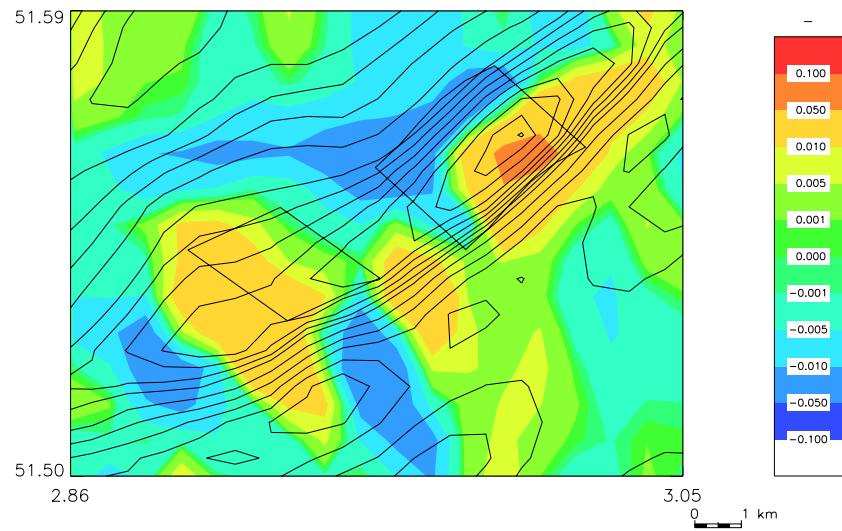


Figuur 17: Gemiddeld sediment transport voor het jaar 1999, met inbegrip van meteorologische omstandigheden.

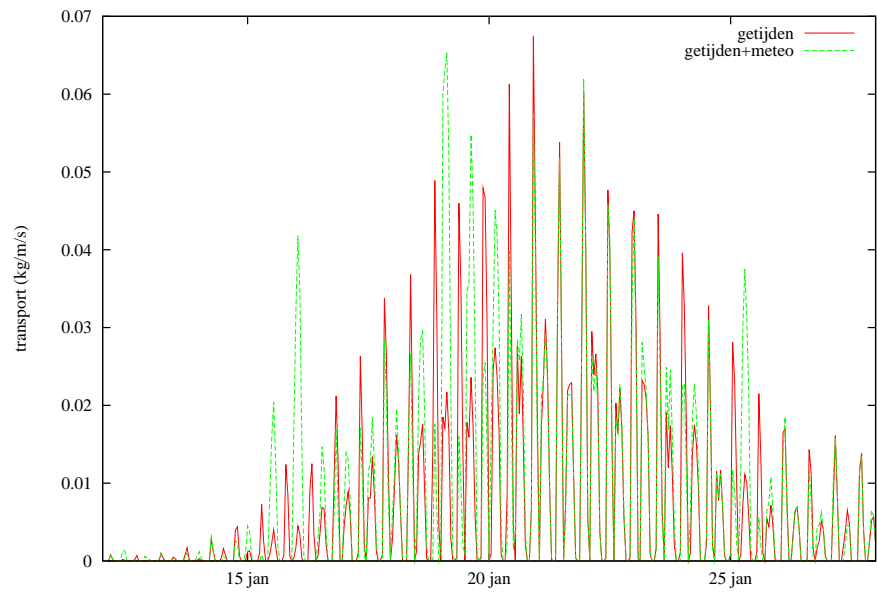
Onder de invloed van de hogere sedimenttransporten verandert het de evolutie van de bodem licht, zie Figuur 18. De erosieve zone, ten noorden van de bank breidt zich nu uit en ook het midden van de zandbank blijkt erosief te worden. In het noordoosten van de bank treedt nu meer depositie op. Ten westen van de bank ontstaat er een kleine zone die erosief is.

3.6.4. Discussie

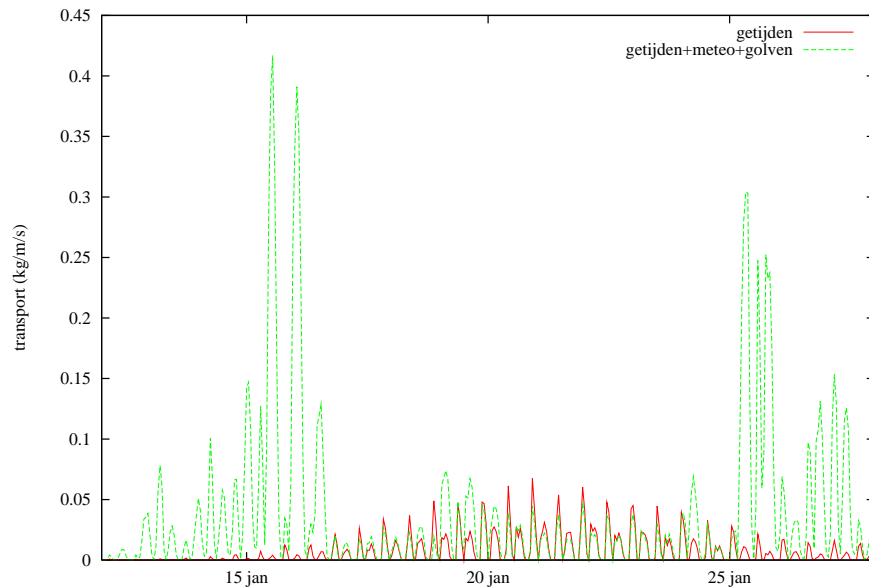
Uit de simulaties blijkt dat de verschillen tussen de sedimenttransport onder de invloed van de getijden en het sedimenttransport onder de invloed van de getijden en meteorologische invloeden klein is. Het effect van de golven is belangrijker. Dit wordt geïllustreerd in, waar het sedimenttransport voor de drie simulaties met elkaar worden vergeleken in punt 3, dat op de top van de zandbank gelegen is (zie Figuur 2), gedurende een periode van 16 dagen.



Figuur 18: Evolutie van de bodem over het jaar 1999, onder de invloed van het sedimenttransport met meteorologische invloeden en met de invloed van golven.

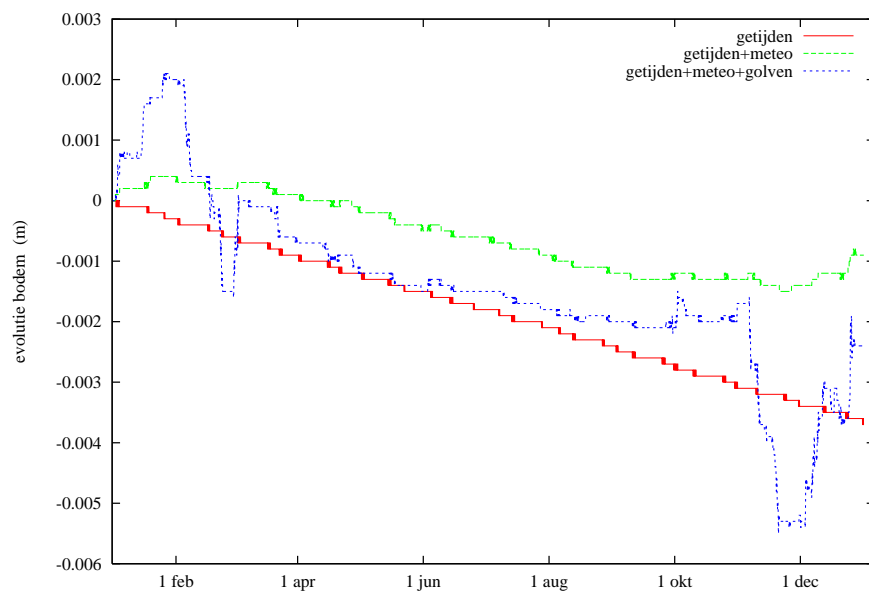


Figuur 19: Sedimenttransport in punt 3 voor simulatie “getijden” en simulatie “getijden+meteo”.

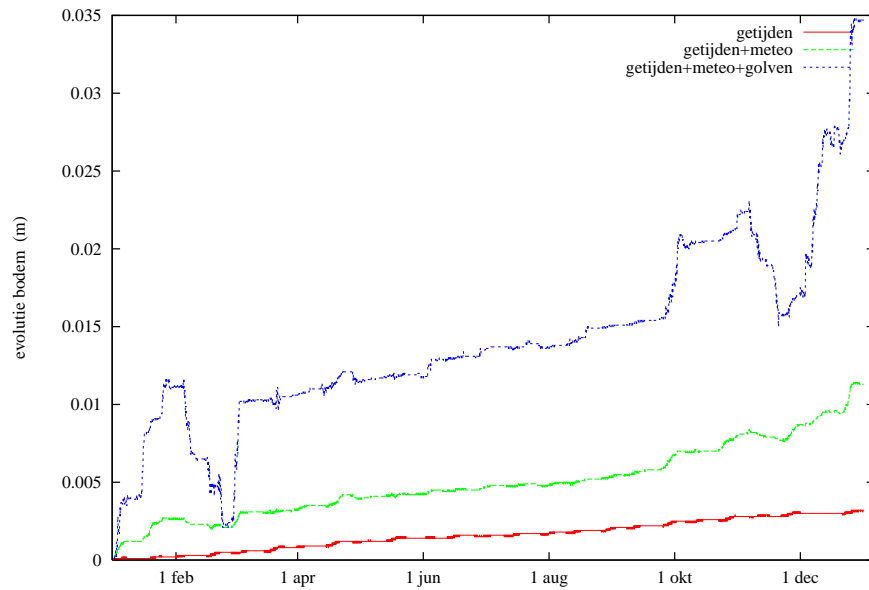


Figuur 20: Sedimenttransport in punt 3 voor simulatie “getijden” en simulatie “getijden+meteo+golven”.

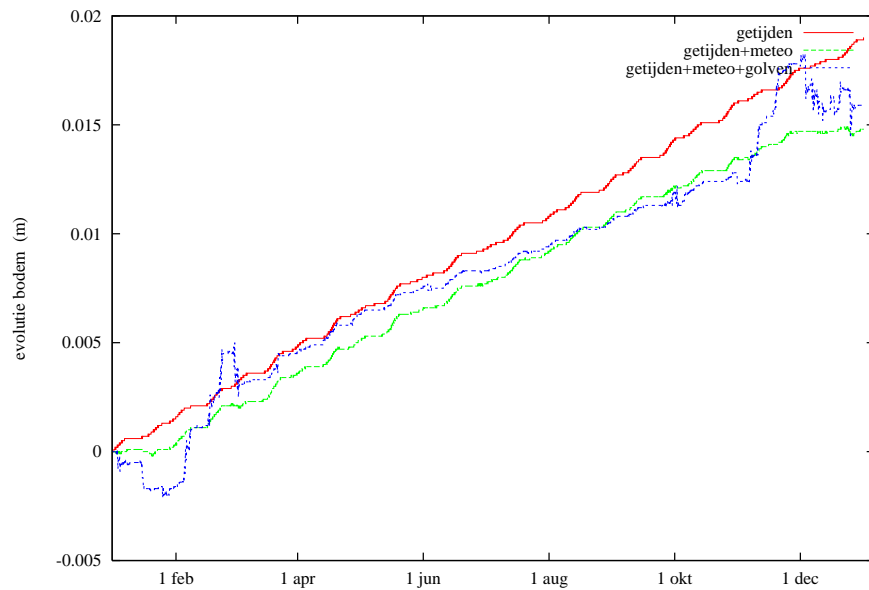
De evolutie van de bodem is derhalve ook groter wanneer de golven worden in rekening gebracht. In Figuur 21 tot Figuur 23 wordt de evolutie van de bodem in de punt 1, ten noorden van de bank, in punt 3, op de top van de bank, en in punt 4, ten zuiden van de bank, weergegeven. Hier blijkt nogmaals dat ten noorden van de bank erosie optreedt, terwijl op de bank en in de geul ten zuiden van de bank, depositie optreedt. De invloed van de golven is het grootste op de top van de zandbank, terwijl in het diepere water ten zuiden van de bank, de invloed van de golven kleiner is.



Figuur 21: Evolutie van de bodem in punt 1 voor de drie simulaties.



Figuur 22: Evolutie van de bodem in punt 1 voor de drie simulaties.



Figuur 23: Evolutie van de bodem in punt 1 voor de drie simulaties.

Merk ten slotte op dat het beeld van het sedimenttransport dat uit de simulaties naar voren treedt, niet overeenkomt met de conclusies die in het MER naar voren werden geschoven. Zoals in de inleiding reeds vermeld, zal, volgens het MER, in normale omstandigheden het westelijke deel van de bank sedimentair zijn, terwijl de steile zuidflank erosief is. Metingen zullen derhalve bijkomende informatie moeten geven over het optredende sedimenttransport.

4. Besluit

In deze rapport werden het hydrodynamische model MU-BCZ, het golfmodel MU-WAVE en het sedimenttransportmodel MU-SEDIM gebruikt voor de berekening van de stromingen, de golven en het sedimenttransport op en rond de Thorntonbank.

De stromingen blijken op de bank cirkelvormig te zijn, waarbij een bepaalde minimum stroomsnelheid behouden blijft. De variatie van de stroomsnelheden is het hoogste in de ondiepere wateren, met hogere maxima en lagere minima. De maximale stroomsnelheden in het concessiegebied overschrijden net de 1 m/s. De golven zijn lager in het zuiden, dicht tegen de kust en verhogen naar het noorden. De maximaal berekende significante golfhoogte op de Thorntonbank liggen rond 3,5 m. Metingen wijzen wel uit dat dit een onderschatting is van de werkelijk optredende maximale golfhoogtes.

Het berekende sedimenttransport is beperkt. In de geul ten zuiden van de bank is het sedimenttransport in noordoostelijke richting, terwijl langs de zachte noordflank het sedimenttransport in zuidelijke richting is, naar de top van de zandbank toe. Dit resulteert in een erosief gebied ten noorden van de bank, terwijl de bank zelf en de geul ten zuiden van de bank grotendeels depositair is. Onder de invloed van de golven blijkt het midden van de bank ook erosief te worden. De evolutie van de bodem blijkt hoe dan ook beperkt te blijven.

5. Referenties

- Adam, Y., 1979. Belgian real-time system for the forecasting of currents and elevations in the North Sea, in: *Marine Forecasting: Predictability and Modelling in Ocean Hydrodynamics*, ed. J. Nihoul, Elsevier Oceanography Series 25, Elsevier, Amsterdam, 411-425.
- Adam, Y., 1987a. The MU-STORM model, Internal Report MUMM, 12 pp, 10 fig.
- Adam, Y., 1987b. The new version of the MU-STORM model, Internal Report MUMM, 23 pp, 5 fig.
- Adam, Y. et A. Sterling, 1984. La prévision des marées-tempête le long de la Côte Belge, *Extrait des Annales des travaux Publics de Belgique*, N° 2, 105-115.
- Bijker, E.W., 1966. The increase of bed shear in a current due to wave motion. In: *Proc. 10th Conf. Coastal Eng.*, Tokyo, 746-765.
- BMM, 2004. Bouw en exploitatie van een windmolenpark op de Thorntonbank in de Noordzee: Milieueffectenbeoordeling van het project ingediend door de n.v. C-Power, maart 2004, 156 pp. + app.
- ECOLAS, 2003. Milieueffectenrapport voor een offshore windturbinepark op de Thorntonbank. Rapport 03/07469/PV, september 2003, 311 pp. + figuren.
- Günther, H. & W. Rosenthal, 1985. The hybrid parametrical (HYPAS) wave model. In: *Ocean wave modelling*, Swamp group. Plenum Press, New York, 211-214.
- Günther, H., W. Rosenthal, T.J. Weare, B.A. Worthington, K. Hasselmann & J.A. Ewing, 1979. A hybrid parametrical wave prediction. *Journal of Geophysical Research*, 84, 5752-5738.
- Hermans, I., 1989. Wave modeling at the Belgian coast by means of the HYPAS model. In: *Progress in Belgian Oceanographic Research 1989*, ed. G. Pichot, DPWB-MUMM, 75-110.
- Van den Eynde, D., 1992. MU-WAVE: an operational wave forecasting system for the Belgian coast. In: *Proc. 3th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting*, May 19-22, 1992, Montréal, Canada, 313-324.
- Van den Eynde, D. & J. Ozer, 1993. Sediment Trend Analysis: berekening van het sediment transport met behulp van een mathematisch model. BMM Rapport.

COLOPHON

Dit rapport werd voorbereid door de BMM in november 2005.

Zijn referentiecode is CPOWER2/1/DVDE/200511/NL/TR/1.

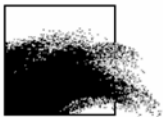
Status ☐ draft
☒ finale versie
☐ herziene versie
☐ vertrouwelijk

Beschikbaar in het ☐ Engels
☒ Nederlands
☐ Frans

Indien u vragen hebt of bijkomende copies van dit document wenst te verkrijgen, gelieve een e-mail te zenden naar *D.VandenEynde@mumm.ac.be*, met vermelding van de referentie, of te schrijven naar:

BMM
100 Gulledele
B-1200 Brussel
België
Tel: +32 2 773 2111
Fax: +32 2 770 6972
<http://www.mumm.ac.be/>

BEHEERSEENHEID VAN HET
MATHEMATISCH MODEL VAN DE NOORDZEE
GROEP MODELLEN



De lettertypes gebruikt in dit dokument zijn Gudrun Zapf-von Hesse's *Carmina Medium* 10/14 voor de tekst en Frederic Goudy's *Goudy Sans Medium* voor titels en onderschriften.